

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-012484

(43)Date of publication of application : 14.01.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/268

H01L 21/20

H01S 3/00

(21)Application number : 10-178918

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 25.06.1998

(72)Inventor : FUJIKAWA SHUICHI

FURUTA KEISUKE

MORITA YOKO

KONNO SUSUMU

KOJIMA TETSUO

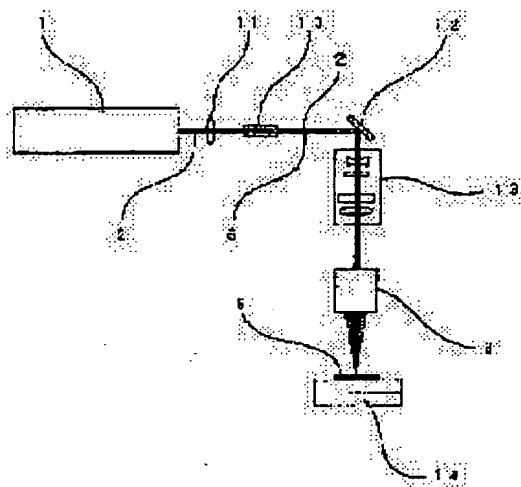
YOSHIZAWA KENJI

## (54) LASER ANNEALING SYSTEM

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a laser annealing system in which annealing is performed with excellent quality through a simple arrangement.

**SOLUTION:** The laser annealing system comprises a pulse laser light source 1 generating first pulse laser light 2 having wavelength in visible region, and second pulse laser light generating means, i.e., a nonlinear optical element 10, for converting the waveform of a part of the first pulse laser light 2 and delivering a second pulse laser light 6, while is a second harmonic having wavelength in the ultraviolet region, while superposing on the first pulse laser light 2 coaxially therewith wherein an article 9 is irradiated with the first and second superposed pulse laser lights 2, 6. The article 9 is irradiated such that the irradiating region of the first pulse laser light covers the irradiating region of the second pulse laser light.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

05.11.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-12484

(P2000-12484A)

(43) 公開日 平成12年1月14日 (2000.1.14)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 21/268		H 0 1 L 21/268	J 5 F 0 5 2
21/20		21/20	5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/00		H 0 1 S 3/00	A

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平10-178918

(22) 出願日 平成10年6月25日 (1998.6.25)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 藤川 周一

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 古田 啓介

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100057874

弁理士 曾我 道照 (外7名)

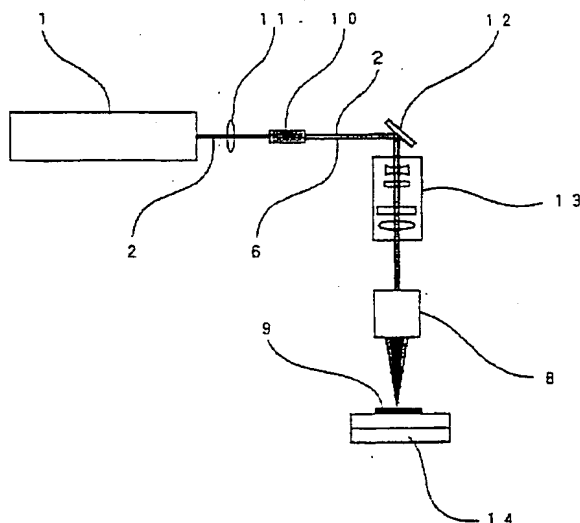
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザアニール装置

(57) 【要約】

【課題】 簡単な構成のもとで品質に優れたアニーリングを行うことを可能にしたレーザアニール装置を得る。

【解決手段】 可視域に波長を有する第1のパルスレーザ光2を発生するパルスレーザ光源1と、第1のパルスレーザ光2が入射され、第1のパルスレーザ光2の一部を波長変換して、紫外域に波長を有する2倍高調波である第2のパルスレーザ光6を第1のパルスレーザ光2と同軸上に重畳させて出射する第2パルスレーザ光発生手段である非線形光学素子10とを備え、重畳された第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6を被照射物9に照射できるようにした。被照射物9上において、第1のパルスレーザ光の照射領域が第2のパルスレーザ光の照射領域を包含するようにレーザ光が照射される。



- 1: パルスレーザ光源
- 2: 第1のパルスレーザ光
- 6: 第2のパルスレーザ光
- 8: 集光照射光学系(集光手段)
- 9: 被照射試料
- 10: 非線形光学素子

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 可視域に波長を有する第1のパルスレーザ光を発生する第1パルスレーザ光発生手段と、  
上記第1のパルスレーザ光が入射され、上記第1のパルスレーザ光の一部を波長変換して、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光を上記第1のパルスレーザ光と同軸上に重畳させて出射する第2パルスレーザ光発生手段とを備え、

上記重畳された上記第1のパルスレーザ光および上記第2のパルスレーザ光を被照射物に照射できるようにしたレーザアニール装置。

【請求項2】 上記第2パルスレーザ光発生手段が、上記第1のパルスレーザ光の2倍高調波を発生することを特徴とする請求項1記載のレーザアニール装置。

【請求項3】 上記第1パルスレーザ光発生手段が、固体素子を活性媒質として用い、上記第1のパルスレーザ光として第2高調波を発生する固体レーザであることを特徴とする請求項1あるいは2記載のレーザアニール装置。

【請求項4】 上記第1パルスレーザ光発生手段が、上記第1のパルスレーザ光として第2高調波を発生する共振器内部波長変換手段を備えた固体レーザであることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか記載のレーザアニール装置。

【請求項5】 上記第1のパルスレーザ光発生手段が、上記第1のパルスレーザ光として第2高調波を発生するQスイッチによりパルス化された固体レーザであることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか記載のレーザアニール装置。

【請求項6】 上記重畳された上記第1のパルスレーザ光および上記第2のパルスレーザ光を集光して、上記被照射物上に照射させ、第1のパルスレーザ光の照射領域が第2のパルスレーザ光の照射領域より広く、第2のパルスレーザ光の照射領域は、第1のパルスレーザ光の照射領域内に位置するようにする集光手段を備えることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか記載のレーザアニール装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、アモルファスシリコンの溶融多結晶化や、ITO (Indium Tin Oxide) 膜の再結晶化による導電性改善等に使用するレーザアニール装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来のレーザアニール装置の例として、特開昭56-29323号公報に示されたレーザアニール装置が知られている。図10は特開昭56-29323号公報に示されている従来のレーザアニール装置の構成を示すブロック図である。図において、Qスイッチ固体レーザであるパルスレーザ光源1は、Qスイッチによ

りパルス化された基本波光である第1のパルスレーザ光2を発生する。3は第1のパルスレーザ光2の光路を2方向に分岐するためのビームスプリッタ、4はビームスプリッタ3で2方向に分岐された第1のパルスレーザ光2のうち一方の光路を延長する遅延光学系、5は第1のパルスレーザ光2の光周波数を過倍する光周波数過倍器、6はビームスプリッタ3で分岐されたもう一方の第1のパルスレーザ光2の光周波数を光周波数過倍器5により過倍した高調波光である第2のパルスレーザ光である。7は45°入射の基本波光である第1のパルスレーザ光2を透過し45°入射の高調波光である第2のパルスレーザ光6を反射する2色性ビームスプリッタ、8は集光照射光学系、9は被照射試料である。

【0003】次に動作について説明する。パルスレーザ光源1は、Qスイッチによりパルス化された基本波光である第1のパルスレーザ光2を発生する。パルスレーザ光源1を出射した第1のパルスレーザ光2は、ビームスプリッタ3により2方向に分岐される。ビームスプリッタ3を透過する第1のパルスレーザ光2は遅延光学系4に入射し、一定の時間遅れをもって遅延光学系4から出射し2色性ビームスプリッタ7に到達する。一方、ビームスプリッタ3によって直角方向に反射された第1のパルスレーザ光2は光周波数過倍器5に入射し、第1のパルスレーザ光2の一部は光周波数が過倍された第2のパルスレーザ光6に変換され、2色性ビームスプリッタ7に到達する。2色性ビームスプリッタ7は、45°入射の第1のパルスレーザ光2に対しては透過、45°入射の高調波光である第2のパルスレーザ光6に対しては反射するように形成されているため、遅延光学系4によって遅延された第1のパルスレーザ光2の光路と光周波数過倍器により光周波数が過倍された第2のパルスレーザ光6の光路は合成され、第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6はともに集光照射光学系8に入射する。集光照射光学系8によって、第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6はともに集光ボタンが被照射試料9の照射領域に整合するよう調整され、被照射試料9を照射する。なお、遅延光学系4によって第1のパルスレーザ光2にもたらされる時間遅れは、少なくとも基本波光である第1のパルスレーザ光2の2パルス分の時間幅以上となるよう設定されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来のレーザアニール装置は上記のように構成されており、基本波光と高調波光とが異なる光路を有するため、光学部品等の装置構成要素が多く、装置コストが高価になるという課題があった。また、装置構成要素が多いばかりでなく、一旦分岐した光路を再度正確に合成する必要があるため、光路調整が複雑かつ難しく、メンテナンス性が低いという課題があった。

【0005】また、基本波と高調波光とのタイミング調

整のため、別個に遅延光学系を設けているため、コスト増大の一因になるばかりでなく、能動的に基本波光と高調波光のタイミングを調整する必要があるため、装置の調整要素が増加し、メンテナンス性低下の一因になるという課題があった。

【0006】また、光路の分岐や遅延光学系の設置によって、Qスイッチ固体レーザを出射した基本波光が被照射試料へ至るまでに通過する光学素子の数は非常に多く、各光学素子における光損失によりレーザ光の利用効率が低下するという課題があった。

【0007】また、光周波数通信器において高調波光に変換されなかった基本波光は、2色性ビームスプリッタ7において被照射試料9の方向に直角に折り曲げられることなく透過するため、レーザ光利用効率低下の一因になるという課題があった。

【0008】また、Qスイッチ固体レーザの基本波光は、通常、赤外域に波長を有するため、被照射試料としてシリコンを用いたアニーリングを行う場合、基本波光の吸収係数は非常に低く、被照射試料に対し熱的な影響をほとんど与えることなく、被照射試料を透過、もしくは被照射試料表面で反射してしまい、効果的なアニーリングを行うことが困難であるという課題があった。

【0009】この発明は、このような課題を解決するためになされたもので、簡単な構成により品質の優れたアニーリングを行うことが可能なレーザアニール装置を得ることを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】この発明に係るレーザアニール装置は、可視域に波長を有する第1のパルスレーザ光を発生する第1パルスレーザ光発生手段と、第1のパルスレーザ光が入射され、第1のパルスレーザ光の一部を波長変換して、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光を第1のパルスレーザ光と同軸上に重畳させて出射する第2パルスレーザ光発生手段とを備え、重畳された第1のパルスレーザ光および第2のパルスレーザ光を被照射物に照射できるようにしたものである。

【0011】この発明に係るレーザアニール装置は、第2パルスレーザ光発生手段が第1のパルスレーザ光の2倍高調波を発生することを特徴とするものである。

【0012】この発明に係るレーザアニール装置は、第1パルスレーザ光発生手段が、固体素子を活性媒質として用い、第1のパルスレーザ光として第2高調波を発生する固体レーザであることを特徴とするものである。

【0013】この発明に係るレーザアニール装置は、第1パルスレーザ光発生手段が、第1のパルスレーザ光として第2高調波を発生する共振器内部波長変換手段を備えた固体レーザであることを特徴とするものである。

【0014】この発明に係るレーザアニール装置は、第1のパルスレーザ光発生手段が、第1のパルスレーザ光として第2高調波を発生するQスイッチによりパルス化

された固体レーザであることを特徴とするものである。

【0015】この発明に係るレーザアニール装置は、重畳された第1のパルスレーザ光および第2のパルスレーザ光を集光して、被照射物上に照射させ、第1のパルスレーザ光の照射領域が第2のパルスレーザ光の照射領域より広く、第2のパルスレーザ光の照射領域は、第1のパルスレーザ光の照射領域内に位置するようにする集光手段を備えることを特徴とするものである。

【0016】

【発明の実施の形態】実施の形態1. この発明の実施の形態であるレーザアニール装置の構成を示すブロック図を図1に示す。図1において、図中、図10と同一符号は同一部分もしくは相当部分を示している。図1において、パルスレーザ光源1は可視域の波長を有する第1のパルスレーザ光2を発生させる第1のパルスレーザ光発生手段である。第1のパルスレーザ光2の光路内には、第1のパルスレーザ光の一部を波長変換して、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光を第1のパルスレーザ光と同軸上に重畳させて出射する第2パルスレーザ光発生手段である非線形光学素子10が設けられている。パルスレーザ光源1と非線形光学素子10の間には、第1のパルスレーザ光2を集光し、非線形光学素子10の入射時の第1のパルスレーザ光2の光強度を高め、紫外光への波長変換効率の向上を図るための集光レンズ11が設けられている。非線形光学素子10と被照射物である被照射試料9との間には、非線形光学素子10から出射した第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6の進行方向を直角に折り曲げるベンドミラー12、第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6のビーム径およびビーム広がり角を調整するためのビーム調整光学系13および第1のパルスレーザ光2、第2のパルスレーザ光6を集光して、その集光ボタンが被照射試料9の照射領域に整合するよう調整でき、被照射試料9に照射できる集光手段である集光照射光学系8が、第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6の進行方向に向かって直列に設けられている。被照射試料9は、ステージ14上に設置されるようになっており、ステージ14によって、上下、左右に移動できるようにになっている。

【0017】この発明の実施の形態のパルスレーザ光源1は、可視域にある発振波長515nmのアルゴンイオンレーザを用い、Qスイッチでパルス化して第1のパルスレーザ光2を発生させている。非線形光学素子10は、 $\beta$ -BBO ( $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、ベータバリウムボレイト)結晶を使用しており、波長515nmの光である第1のパルスレーザ光2を入射し、第1のパルスレーザ光2の2倍高調波である第2のパルスレーザ光6を発生する際、位相整合条件が満たされるよう $\beta$ -BBO結晶の表面がカットされている。従って、第2のパルスレーザ光6は、波長258nmの紫外光となる。また、図

には示していないが非線形光学素子10には温度および設置角度に応じた調整手段が設けられている。被照射試料9はアモルファスシリコン膜で、レーザ光を照射することにより熔融再結晶化しポリシリコン膜を形成する。

【0018】次に動作を説明する。パルスレーザ光源1を出射した第1のパルスレーザ光2は、集光レンズ11により集光され、非線形光学素子10に入射する。非線形光学素子10は、前述したように2倍高調波発生時に位相整合条件が満たされるようカットされているため、非線形光学素子10へ入射した第1のパルスレーザ光2の一部は2倍高調波へ波長変換され、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光となる。第2のパルスレーザ光は、第1のパルスレーザ光2の光路に沿って発生するため、ウォークオフによる進行方向のずれを無視すれば、第2のパルスレーザ光6は、第1のパルスレーザ光2の同軸上に発生するものとみなすことができる。

【0019】非線形光学素子10を出射した第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6は、同一のベンドミラー12により直角に折り曲げられ、ビーム調整光学系13に入射する。ビーム調整光学系13は複数の円筒凸レンズおよび円筒凹レンズから構成されており、第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6のビーム径を拡大するとともに、ビーム広がり角を低減させる。

【0020】集光照射光学系8に入射した第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6は、線状に集光される。ここで、第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6は、波長が異なるため色収差を生じ、集光点が異なる。この実施の形態においては、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光6の集光点が、被照射試料9上に位置するようにステージ14によって被照射試料9の高さが調整されている。従って、第1のパルスレーザ光2は十分集光されていない状態で、第2のパルスレーザ光6は集光された状態で被照射試料9を照射する。

【0021】図2乃至図4は、この発明の実施の形態に係るレーザアニール装置の第1のパルスレーザ光あるいは第2のパルスレーザ光の光強度の時間変化を示すグラフである。図において、光強度を示す縦軸の単位は任意の単位 (arbitrary unit) を用いている。図2は非線形光学素子10に入射する前の第1のパルスレーザ光2の光強度の時間変化を示し、図3は非線形光学素子10に入射した後の第1のパルスレーザ光2の光強度の時間変化を示し、図4は非線形光学素子10で発生した第2のパルスレーザ光6の光強度の時間変化を示している。この実施の形態においては、Qスイッチを用いてレーザをパルス化しているため、非線形光学素子10入射前の第1のパルスレーザ光2の光強度は、急速に立ち上がり、最大光強度到達後なだらかに減少する波形を示している。従って、最大光強度到達時の時間位置は

第1のパルスレーザ光2の光強度の時間変化を示すパルス時間波形の前半に位置している。

【0022】第2のパルスレーザ光6は第1のパルスレーザ光2の2倍高調波であり、この2倍高調波を発生する際の2倍高調波への波長変換効率、理論的には非線形光学素子10に入射する被波長変換光（ここでは、第1のパルスレーザ光2）の光強度の2乗に比例する。従って、図2において、非線形光学素子10へ入射する第1のパルスレーザ光2において、最大光強度近傍の光は他の領域に比べ2倍高調波へ変換される割合が高く、光強度の低い領域の光は2倍高調波へ変換される割合が低くなる。この結果、非線形光学素子10出射後の第1のパルスレーザ光2の時間波形は、非線形光学素子10入射以前の時間波形に比べ、最大光強度近傍の光強度の減少が顕著となり、外見上半値全幅が長くなる。この実施の形態においては、第1のパルスレーザ光2の半値全幅は、非線形光学素子10通過前後で、70 ns程度（図2参照）から120 ns程度（図3参照）と長くなる。

【0023】第1のパルスレーザ光2の2倍高調波である第2のパルスレーザ光6の光強度は、上述のように第1のパルスレーザ光2の光強度の2乗に比例するため、第2のパルスレーザ光6の光強度の時間波形は、図4に示すように、非線形光学素子10入射前の第1のパルスレーザ光2の光強度の高低が強調された波形となる。この結果、第2のパルスレーザ光6のパルス時間幅は、第1のパルスレーザ光2のパルス時間幅に比べ短い。また、第2のパルスレーザ光6の最大光強度は第1のパルスレーザ光2の最大光強度に対応するため、第2のパルスレーザ光6は、時間的に第1のパルスレーザ光2の前半に位置する。この実施の形態においては、非線形光学素子10入射前の第1のパルスレーザ光の半値全幅が70 ns程度（図2参照）であるのに対し、第2のパルスレーザ光6の半値全幅は20 ns程度（図4参照）となっている。

【0024】この実施の形態においては、第1のパルスレーザ光2の10%程度を、第2のパルスレーザ光6へ変換している。第1のパルスレーザ光2から第2のパルスレーザ光6への変換割合は、集光レンズ11の焦点距離や設置位置により調整することができる。すなわち、集光レンズ11の焦点距離や設置位置を変化させることにより、非線形光学素子10に対する第1のパルスレーザ光2の入射強度が変化するので、第1のパルスレーザ光2から第2のパルスレーザ光6への変換割合が調整される。

【0025】この発明の実施の形態に係るレーザアニール装置の被照射試料9上における第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6の照射領域であるビームパターンを図5に示す。図において、図中、は第1のパルスレーザ光の照射領域（ビームパターン）35が、第2のパルスレーザ光6の照射領域（ビームパターン）36より広

く、第2のパルスレーザ光の照射領域36は第1のパルスレーザ光2の照射領域35内に位置するように集光されている。

【0026】第2のパルスレーザ光6は、第1のパルスレーザ光2の2倍高調波であり、第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6は波長が異なるため、図5で示した第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6の照射領域(ビームパタン)は容易に得ることができる。即ち、通常の光学材料には波長によって屈折率が異なる分散があるため、単一の光学材料を用いて集光照射光学系8を構成すれば、波長によって集光位置が異なる色収差が発生する。このため、第2のパルスレーザ光6の集光位置に被照射試料9を設置すれば、被照射試料9は必然的に第1のパルスレーザ光2の集光位置からずれ、被照射試料9上での第1のパルスレーザ光6の照射領域はばやけたものとなる。この結果、図5で示すように第1のパルスレーザ光2の照射領域35内部に、第2のパルスレーザ光6の照射領域36が重なって形成される。

【0027】図6乃至8は、この発明の実施の形態に係るレーザアニール装置の第1のパルスレーザ光2あるいは第2のパルスレーザ光6を照射した被照射試料である同一のアモルファスシリコン膜の温度の時間変化を計算した結果を示すグラフである。図6は非線形光学素子10通過後の第1のパルスレーザ光2のみを被照射試料9に照射した際の被照射試料9の温度の時間変化を示し、図7は第2のパルスレーザ光6のみを被照射試料9に照射した際の被照射試料9の温度の時間変化を示し、図8は、第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6を重畳し、被照射試料9に照射した際の被照射試料9の温度の時間変化を示している。この実施の形態においては、第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6はともに同一光路を介し、非線形光学素子10から被照射試料9へ至るため、両者を重畳し被照射試料9に照射する際の第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6のタイミングは、非線形光学素子10における第2のパルスレーザ光6発生時の第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光のタイミングが維持される。従って、図3および図4で示したように、半値全幅120 ns程度の第1のパルスレーザ光2の前半に、半値全幅20 ns程度の第2のパルスレーザ光6が時間的に位置する。

【0028】第1のパルスレーザ光2の波長515 nmにおける被照射試料9であるアモルファスシリコンの吸収係数は、 $1.0 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 程度、第2のパルスレーザ光6の波長258 nmにおける被照射試料9であるアモルファスシリコンの吸収係数は、 $1.0 \times 10^6 \text{ cm}^{-1}$ 程度で、アモルファスシリコンに対する吸収係数は、第2のパルスレーザ光の方が1桁大きい。ここで、物質への光の浸透深さは、その物質の吸収係数が大

きくなるほど浅くなる。このため、第2のパルスレーザ光6の大部分は、被照射試料9であるアモルファスシリコン膜で吸収されるのに比べ、第1のパルスレーザ光2がアモルファスシリコン膜において吸収される割合は少ない。

【0029】図6に示すように、第1のパルスレーザ光2のみを照射した場合の被照射試料9の温度は、照射開始とともに比較的緩やかに温度が上昇し、融点に到達することなく減少へ転じているのに対し、図7に示すように、第2のパルスレーザ光6のみを照射した場合には、照射開始直後から急速に温度が上昇し被照射試料9の融点に至り、30~40 ns程度の間、融点近傍の一定温度を維持した後、減少に転じている。第2のパルスレーザ光6は、アモルファスシリコンに対する吸収係数が大きいので、第2のパルスレーザ光6を被照射試料9に照射した時、第2のパルスレーザ光6の照射領域36内にあるアモルファスシリコンの大部分が液相へ転移する。第2のパルスレーザ光6のみを照射した際、融点近傍で一定温度が維持されるのは、アモルファスシリコンの潜熱によるものである。また、図8に示すように、第1のパルスレーザ光2と第2のレーザ光6を重畳して照射した場合には、融点近傍での一定温度持続時間が、第2のパルスレーザ光6のみを照射した場合に比べ大幅に増加し、150 ns程度の間、融点近傍の温度が維持される。これはパルス時間幅の長い第1のパルスレーザ光2を被照射試料9が吸収することにより、第2のパルスレーザ光6の吸収で生じた熱の散逸が効果的に補償されたためである。

【0030】溶融したアモルファスシリコン膜は、熱の散逸とともに凝固を開始する。この際、レーザ光照射で完全に溶融することなく残留したシリコンを核に結晶が成長する。このため、レーザ光照射により溶融したアモルファスシリコン膜は、粒状のシリコン単結晶が集合したポリシリコン膜へと変化する。ポリシリコン膜はアモルファスシリコン膜に比べ電子移動度が大きく、ポリシリコンで形成したトランジスタは、アモルファスシリコンで形成したものに比べ動作速度が著しく速い。シリコン結晶粒の粒径が大きくなるほど、粒界において電子がトラップされる確率が低くなり電子移動度は高くなる。従って、高い電子移動度を有するポリシリコン膜を形成するためには、レーザ光照射による溶融再結晶化の際に、大粒径のシリコン結晶粒を成長させる必要がある。

【0031】シリコン結晶粒は、アモルファスシリコン膜が融点に到達し、熱の散逸によりシリコン膜全体が凝固するまでの間、即ち、融点近傍における温度一定期間内に成長する。従って、温度一定期間が短くなれば、結晶粒は十分に成長することができず、ポリシリコン中の結晶粒の粒径は小さくなる。このため、融点近傍における温度一定期間を如何に長く保つか、高電子移動度のポリシリコン膜を形成するための重要な課題となる。

【0032】一方、被照射試料9であるアモルファスシリコン膜に、過剰なエネルギーを供給した場合には、被照射試料9の温度は融点を大きく越え、アモルファスシリコンは完全に熔融する。この場合、再結晶化時の核が残留しないため、結晶粒は多量に発生する。この結果、結晶粒は小さくなり、高い電子移動度を有するポリシリコン膜は得ることができない。

【0033】この実施の形態によれば、被照射試料9に対し吸収係数が大きく紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光6を照射することにより、被照射試料9であるアモルファスシリコンを一気に融点まで加熱し、第2のパルスレーザ光6に比べ被照射試料9に対する吸収係数が小さくパルス時間幅の長い可視域に波長を有する第1のパルスレーザ光2、第2のパルスレーザ光6と重畳し、被照射試料9に対し照射するので、第2のパルスレーザ光6により被照射試料9内に発生した熱の散逸を、第1のパルスレーザ光2により被照射試料9内に発生した熱で補償し、融点近傍の温度一定期間を効果的に延長することができる。この結果、結晶粒径が $1\mu\text{m}$ 以上で、 $200\text{cm/V}$ 以上の高い電子移動度を有するポリシリコン膜を形成することができる。

【0034】また、可視域に波長を有する第1のパルスレーザ光2と、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光6を、重畳して被照射試料9に照射し、融点近傍の温度一定期間の延長を図る場合、第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6の照射タイミングによって、温度一定期間の長さは大きく変化する。従って、第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6をそれぞれ独立した光源を使用して発生させた場合、両光源動作時のジッタ等により、常に一定の特性を有するポリシリコン膜を安定に形成することが難しい。

【0035】しかしながら、この実施の形態によれば、可視域に波長を有する第1のパルスレーザ光2に対し、非線形光学素子10を用いて波長変換を施し紫外光を発生させて第2のパルスレーザ光6として使用するので、第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6の発生タイミングを常に一定に保つことができる。また、第2のパルスレーザ光6は、非線形光学素子10において第1のパルスレーザ光2と同軸上に発生し、第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6が同一光路を介し、非線形光学素子10から被照射試料9まで伝送されるので、別途調整機構を設けることなく被照射試料9上での第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6の照射タイミングを常に一定に保つことができる。

【0036】また、この実施の形態においては、第2のパルスレーザ光2を発生する波長変換手段として2倍高調波発生を利用している。この2倍高調波発生は和周波混合等、他の短波長への波長変換手段に比べ、非線形光学素子10へ入射させる被波長変換光は1種類でよいので、被波長変換光の光路やビーム径の調整が容易であ

り、構成自体も簡単にすることができる。

【0037】また、第2のパルスレーザ光6は非線形光学素子10において第1のパルスレーザ光2と同軸上に発生し、非線形光学素子10から被照射試料9まで同一光路を介し伝送するので、光路構成が簡素となるばかりでなく、第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6との光軸合わせ等が不要となり、光路調整が非常に簡単になる。

【0038】また、この実施の形態においては、図5で示したように、被照射試料9上の第1のパルスレーザ光2の照射領域35内に、第2のパルスレーザ光6の照射領域36が位置するように調整されているため、第2のパルスレーザ光6の照射領域36全体にわたり、第1のパルスレーザ光2によって熱の散逸が効果的に補償され、粒径が大きく均一なポリシリコン膜を、第2のパルスレーザ光2の照射領域36全体に形成することができる。

【0039】また、通常の光学ガラスや石英等の光学材料には、波長により屈折率が異なる分散があるため、これらの材料で形成されたレンズ等の屈折光学素子を使用した場合、波長により焦点距離が異なる色収差が発生する。多波長、もしくはスペクトル幅の広い光源からの光を屈折光学素子で集光する場合、色収差を補正するため、屈折率の異なる2つ以上の材料を組み合わせてレンズを形成する色消しを行うのが通常である。しかしながら、この実施の形態に示すように、第1のパルスレーザ光2の照射領域35内部に、第2のパルスレーザ光6の照射領域36を配置する場合、色消しが施されていない単一の材料で形成された光学素子を使用し、被照射試料9上に第2のパルスレーザ光6の集光点が位置するよう被照射試料9の位置を調整すれば、第1のパルスレーザ光2は、被照射試料9上とは異なる位置で集光されるため、結界として第1のパルスレーザ光2の照射領域35は第2のパルスレーザ光6の照射領域36に比べ広くなり、第1のパルスレーザ光2の照射領域内部に、第2のパルスレーザ光6の照射領域が位置するようになる。このように、第1のパルスレーザ光2の被照射試料9上の照射領域35の内部に、波長が異なる第2のパルスレーザ光6の照射領域36を配置することにより、集光照射光学系8において、色消し等を施していない安価なレンズを使用することができる。

【0040】この実施の形態においては、被照射試料9にアモルファスシリコンを使用し、レーザ光照射による熔融再結晶化でポリシリコン膜を形成する構成を示したが、被照射試料9はアモルファスシリコンに限るものではなく、例えばITO膜であってもよく、このレーザーアニール装置をITO膜の熔融再結晶化による導電性向上にも適用することができる。

【0041】また、第1のパルスレーザ光2に対する第2のパルスレーザ光6の出力割合は、第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6に対する被照射試料9



の吸収率、融点、照射面積等に応じ、最適な値を選べばよい。例えば、第2のパルスレーザ光6に対し、被照射試料9の吸収率が大きな材料に対しては、第2のパルスレーザ光6の出力を低くすればよい。この場合、非線形光学素子10に対する第1のパルスレーザ光2の入射強度を低下させれば、波長変換効率が減少するため、第2のパルスレーザ光6の出力を低くすることができる。また、非線形光学素子10への第1のパルスレーザ光2の入射強度は、非線形光学素子10の手前に配置した集光レンズ11の焦点距離や、集光レンズ11から非線形光学素子10までの距離を調整することで、容易に変化させることができる。

【0042】単一波長の光源を用いて、被照射試料9のアニーリングを行う場合、被照射試料9の吸収率は常に一定であり、照射するレーザ光のパルス幅をナノ秒オーダーでの制御することは容易ではないため、照射条件の最適化は出力のみを調整することに頼っていた。この結果、光源の波長、パルス幅によって、アニーリングの対象となる被照射試料9の種類は制限されていた。この実施の形態に示すように、波長の異なる2つのパルスレーザ光を重畳して被照射試料9のアニーリングを行う場合には、第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6の出力割合を変化させることにより、被照射試料9に対する等価的なパルス幅や吸収率を変化させることができるので、単一波長の光源を使用した場合に比べ、多様な材料のアニーリングを行うことができる。

【0043】実施の形態2. 図9は、この発明に係るレーザアニール装置の異なる実施形態の第1のパルスレーザ光2を発生するパルスレーザ光源である内部波長変換型固体レーザ101の構成を示すブロック図である。内部波長変換型固体レーザ101は、パルスレーザ光源1に相当するものであり、これ以外のレーザアニール装置の構成は図1と同様であり、実施の形態1と重複する部分の説明は省略する。図9において、活性媒質として用いられる固体素子である固体レーザ媒質15は、この実施の形態ではネオジウムイオンがドープされたYAG（イットリウムアルミニウムガーネット）結晶を使用している。固体レーザ媒質15を励起するための半導体レーザ16が固体レーザ媒質15の側方に設けられている。半導体レーザ16によって励起された固体レーザ媒質15は、波長は1064nmの近赤外域にある基本波レーザ光17を放出する。基本波レーザ光17の光路上には、基本波レーザ光17をパルス化するためのQスイッチ18が設けられている。固体媒質レーザ15およびQスイッチ18を間に挟む位置に、第1の端部ミラー20と第2高調波取り出しミラー22が設けられている。また、この第2高調波取り出しミラー22と第2の端部ミラー21との間には、基本波レーザ光17を波長変換し、第2高調波を発生する第2高調波発生用非線形光学素子19が設けられている。この第2高調波発生用非線

形光学素子19は、この実施の形態においてはKTP（ $\text{KTiOPO}_4$ 、リン酸チタン酸カリウム）結晶を使用しており、波長1064nmの光を入射した際、2倍高調波発生時に位相整合条件が満たされるようカットされている。従って、第2高調波の波長は、532nmの可視光となる。また、図には示していないが第2高調波発生用非線形光学素子19には温度および設置角度の調整手段が設けられている。また、第1の端部ミラー20を一端とし、第2の端部ミラー21を他端とした共振器が構成されており、その内部にはQスイッチ18、固体媒質レーザ15、第2高調波取り出しミラー22を有する。第2高調波発生用非線形光学素子19もまた、この共振器の内部の光路上に設けられており、共振器内部波長変換手段を構成している。第1の端部ミラー20は、波長1064nmの基本波レーザ光17に対し全反射を起こさせる全反射コーティングが施されている。第2の端部ミラー21は波長1064nmの基本波レーザ光17と波長532nmの第2高調波との両者に対し全反射を起こさせる全反射コーティングが施されている。第2高調波取り出しミラー22は光軸を折り曲げ、第2高調波を共振器外部に取り出すため波長1064nmの基本波レーザ光17に対しては全反射し、波長532nmの第2高調波に対しては全透過となるように2波長コーティングが施されている。第2高調波取り出しミラー22を挟んで、第2高調波発生用非線形光学素子19と反対側の位置には、第2高調波取り出しミラー22から取り出された第2高調波の進行方向を折り曲げる折り曲げミラー23が設けられている。内部波長変換型固体レーザ101のケース24には、第2高調波光を取り出すビーム取り出し窓25が設けられている。Qスイッチ18では、共振器内の光損失量を変化させることができる。

【0044】次に動作を説明する。まず、半導体レーザ16から射出する励起光を固体レーザ媒質15の光軸側方より照射して固体レーザ媒質15の励起を行う。励起された固体レーザ媒質15中には、励起光の波長、活性媒質の原子構造に応じた特定のエネルギー準位間で反転分布が生じる。反転分布は自然放出および誘導放出により減少するが、共振器内に配置したQスイッチ18による光損失が大きい状態では、共振器内の光強度は増大し得ず、誘導放出による反転分布の減少は無視することができる。従って、励起による反転分布増加量が自然放出による反転分布減少量を上回る限り反転分布は増加し、高いエネルギーが固体レーザ媒質15内に蓄積される。固体レーザ媒質15内に高いエネルギーが蓄積された状態で、Qスイッチ18による光損失量を急速に低下させると、固体レーザ媒質15内で発生した自然放出光は、第1の端部ミラー20と第2の端部ミラー21により共振器内に閉じ込められ、固体レーザ媒質15の誘導放出による増幅作用を被り共振器内の基本波レーザ光17の光強度は急速に増加する。誘導放出の発生割合は、固体

レーザ媒質15を通過する光強度に比例するため、光強度の高い基本波レーザ光17が固体レーザ媒質15中を通過する際、誘導放出が顕著となり反転分布はしきい値以下にまで減少してしまう。この結果、共振器内の基本波レーザ光17は発振を停止する。上述のように、共振器内にQスイッチ18を設置し、共振器内の光損失を増減することにより、ピーク光強度の高いパルス光を発生することができる。特に、この実施の形態においては基本波レーザ光17を第1の端部ミラー20および第2の端部ミラー21から構成される共振器内に閉じ込める構成としているので、共振器内の基本波レーザ光17の光強度は非常に高くなる。

【0045】この実施の形態においては、共振器内に第2高調波発生用非線形光学素子19を配置し、かつ第1の端部ミラー20と第2の端部ミラーによって基本波レーザ光17を共振器内に閉じ込めているので、非常にピーク光強度の高い基本波レーザ光17を第2高調波発生用非線形光学素子19へ入射させることができる。第2高調波発生用非線形光学素子19において、基本波レーザ光17が第2高調波へ変換される割合は、理論的には基本波レーザ光17の光強度の2乗に比例する。この実施の形態に示すような波長変換手段を共振器の光路内に有する共振器内部波長変換構成によれば、高強度の基本波レーザ光17を第2高調波発生用非線形光学素子19に入射させ効率よく第2高調波光を発生させることができる。共振器内で発生した第2高調波は、共振器内に設置した第2高調波取り出しミラー22から共振器外部に取り出される。共振器を出射した第2高調波は、折り曲げミラー23により進行方向を折り曲げられ、ビーム取り出し窓25よりケース24の外部へ出射する。ケース24の外部へ出射した可視域に波長を有する第2高調波はこの発明に係るレーザーアニール装置の第1のパルスレーザ光2としてアニーリングに使用される。なお、第2のパルスレーザ光6の発生方法、被照射試料9までの伝送方法、被照射試料9に対する照射方法は、非線形光学素子10のカットの角度が、波長532nmの光を入射した際、2倍高調波発生時に位相整合条件が満たされるようカットされていることを除き、実施の形態1で示した構成と同じである。

【0046】この実施の形態においては、固体レーザ媒質15を用いて近赤外域にある基本波レーザ光17を発生させ、Qスイッチ18でパルス化した基本波レーザ光17を、第2高調波発生用非線形光学素子19により波長変換を施し、可視域に波長を有する第2高調波を発生させ、第1のパルスレーザ光2としてアニーリングに使用している。この実施の形態に示すように、固体レーザ媒質から発生する基本波レーザ光を可視光に波長変換し、第1のパルスレーザ光としてアニーリングに使用すれば、実施の形態1と同様な効果が得られるばかりでなく、実施の形態1において第1のパルスレーザ光2の光

源として用いていたアルゴンレーザ等のガスレーザとは異なり、第1のパルスレーザ光発生用の光源を小型化することができる。また、ガスレーザに比べ効率よく第1のパルスレーザ光2を発生させることができるので、アニーリング時のランニングコストが低減し、安価に高品質なアニーリングを行うことができる。

【0047】さらに、実施の形態1で示したアルゴンレーザは、放電中の電子によりガス媒質を励起するので、放電発生用の電極の消耗を避けることができず、寿命および長期信頼性の観点において十分優れているとは言えない。この実施の形態に示すように、固体レーザ媒質15を使用すれば、長期信頼性が格段に向上するばかりでなく、出力の安定性も向上するので、メンテナンスコストの低減を図ることが可能ばかりでなく、長期間にわたり品質の安定したアニーリングを行うことができる。また、ガスレーザに比べ高出力化が容易であるため、アニーリングの生産性の向上を図ることが容易である。

【0048】この実施の形態においては、固体レーザ媒質15にYAG結晶を使用した例を示したが、固体レーザ媒質15の材料はこれに限るものではなく、例えばネオジウムイオンをドープしたYLF(LiYF<sub>4</sub>)結晶を使用すれば、波長1047nmあるいは1052nmの近赤外域にある基本波レーザ光17が得られるばかりでなく、自然放出の寿命がYAG結晶よりも長いので、Qスイッチ18で基本波レーザ光17をパルス化する際、固体レーザ媒質15内に効率よくエネルギーを蓄積することができる。また、固体レーザ媒質15の温度変化にともなう屈折率の変化がYAG結晶よりも小さいので、レーザ出力およびビーム品質の安定性が向上する。固体レーザ媒質15は、ここで言及したYAG結晶、YLF結晶に限らず、近赤外域に発振波長を有するものであればいずれも適用が可能であり、アニーリングに必要な条件に応じて最良の結晶を選定すればよい。

【0049】また、この実施の形態においては、共振器内部で波長変換を行い、固体レーザ媒質の第2高調波を発生する構成を示したが、共振器外に基本波レーザ光17を取り出した場合でも、基本波レーザ光17の光強度が十分に高ければ、第2高調波発生用非線形光学素子19を共振器外部に設置し、共振器外部で波長変換を行い第2高調波を発生させ、第1のパルスレーザ光2としてアニーリングに使用してもよい。共振器外部に第2高調波発生用非線形光学素子19を配置すれば、共振器のアライメントが容易になるばかりでなく、出力の安定性はさらに向上し、アニーリングの品質保持がさらに簡単になる。

【0050】また、この実施の形態においては、半導体レーザ16を固体レーザ媒質15の励起光源として使用する構成を示したが、アークランプを固体レーザ媒質15の励起光源として使用してもよい。アークランプを励起光源として使用した場合、長期信頼性の観点で半導体

レーザ16に比べ劣るものの、半導体レーザ16に比べ安価であるため、アニーリング装置の製造コストの低減を図ることができる。

【0051】この実施の形態においては、固体レーザ媒質15の第2高調波を第1のパルスレーザ光2として使用し、第1のパルスレーザ光2の2倍高調波を発生させ紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光6を発生させる構成を示したが、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光6の発生手段は、2倍高調波発生に限るものではなく、例えば、固体レーザ媒質15の第2高調波を第1のパルスレーザ光2として使用する場合には、固体レーザ媒質15の基本波レーザ光17と第1のパルスレーザ光2である第2高調波を、非線形光学素子10に同時に入射させ和周波混合を行い、紫外域に波長を有する基本波レーザ光の3倍高調波を第2のパルスレーザ光6として使用してもよい。波長変換を行う非線形光学素子に対する熱負荷は、発生する波長変換光の波長が短くなるほど高くなるので、基本波レーザ光17の3倍高調波を第2のパルスレーザ光6として使用すれば、基本波レーザ光17の第2高調波の2倍高調波、即ち、基本波レーザ光17の4倍高調波を第2のパルスレーザ光6として使用する場合よりも、第2のパルスレーザ光6を発生する非線形光学素子10の熱負荷が低減し、レーザアニール装置の信頼性が向上する。

【0052】実施の形態1および実施の形態2においては、Qスイッチを用いてレーザ光をパルス化する構成を示したが、パルス化の方法はこれに限るものではなく、例えばレーザ光源の励起をパルス動作で行っても、アニーリングに適用可能なパルスレーザ光を得ることができる。

【0053】

【発明の効果】この発明によれば、可視域に波長を有する第1のパルスレーザ光を発生する第1パルスレーザ光発生手段と、第1のパルスレーザ光が入射され、第1のパルスレーザ光の一部を波長変換して、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光を第1のパルスレーザ光と同軸上に重畳させて出射する第2パルスレーザ光発生手段とを備え、重畳された第1のパルスレーザ光および第2のパルスレーザ光を被照射物に照射できるようにしたので、多様な材料に対し効果的なアニーリングが可能となるばかりでなく、第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光の照射タイミングが常に一定に保たれるため、常に一定したアニーリング品質を保つことができる。さらに、第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光の光軸合わせが不要であるため、光路調整等メンテナンス性を向上させることができる。

【0054】また、この発明によれば、第2パルスレーザ光発生手段が、第1のパルスレーザ光の2倍高調波を発生するので、波長変換光の光路やビーム径の調整が容易であり、波長変換の構成を簡単にすることができる。

ので、レーザアニール装置の製造コストの低減を図ることができる。

【0055】また、この発明によれば、第1パルスレーザ光発生手段が、固体素子を活性媒質として用い、第1のパルスレーザ光として第2高調波を発生する固体レーザであるので、第1のパルスレーザ光を発生するための光源の小型化を図り、第1のパルスレーザ光を効率よく発生することが可能となるばかりでなく、光源の寿命、信頼性の向上を図ることができる。さらに、レーザ出力が安定しており高出力化も容易なので、常に一定品質のアニーリングを行うことが可能であると同時に、アニーリングの生産性向上も容易に図ることができる。

【0056】また、この発明によれば、第1パルスレーザ光発生手段が、第1のパルスレーザ光として第2高調波を発生する共振器内部波長変換手段を備えた固体レーザであるので、固体レーザ媒質より発生する基本波レーザ光の共振器内部光強度を高め、光強度の高い基本波レーザ光を用いて波長変換を行い、効率よく第1のパルスレーザ光を発生し、レーザアニール装置のランニングコストの低減を図ることができる。

【0057】また、この発明によれば、第1のパルスレーザ光発生手段が、第1のパルスレーザ光として第2高調波を発生するQスイッチによりパルス化された固体レーザであるので、高強度の基本波レーザ光の発生が容易になり、第1のパルスレーザ光として使用する第2高調波を効率よく発生し、レーザアニール装置のランニングコストの低減を図ることが可能となるばかりでなく、第1のパルスレーザ光を波長変換することにより発生する第2のパルスレーザ光は、第1のパルスレーザ光の前部に時間的に位置するため、第2のレーザ光で被照射試料に生じた熱の散逸を、第1のパルスレーザ光が効果的に補償し、高品質のアニーリングを行うことができる。

【0058】また、この発明によれば、重畳された第1のパルスレーザ光および第2のパルスレーザ光を集光して、被照射物上に照射させ、第1のパルスレーザ光の照射領域が第2のパルスレーザ光の照射領域より広く、第2のパルスレーザ光の照射領域は、第1のパルスレーザ光の照射領域内に位置するようにする集光手段を備えるので、第2のパルスレーザ光の照射領域全体にわたり、第1のパルスレーザ光によって熱の散逸が効果的に補償され、第2のパルス光の照射領域全体にわたり、均一かつ高品質なアニーリングを行うことができる。また第1のパルスレーザ光の照射領域の内部に第2のパルスレーザ光の照射領域を位置させることは、色消しを施していない、単一材料で形成された安価なレンズを集光手段として用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1に係るレーザアニール装置の構成を示すブロック図である。

【図2】 この発明の実施の形態1に係るレーザアニール装置の構成を示すブロック図である。

ル装置の非線形光学素子入射前の第1のパルスレーザー光の光強度の時間変化を示すグラフである。

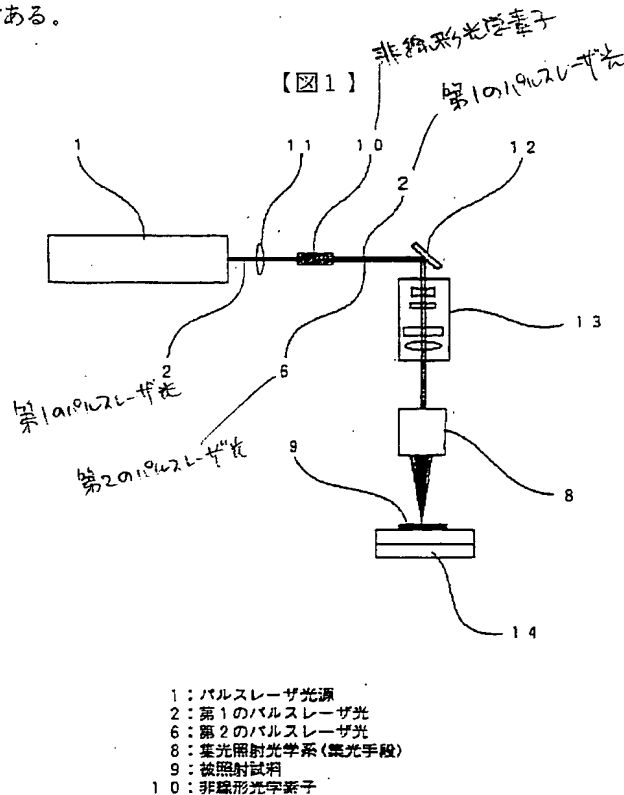
【図3】 この発明の実施の形態1に係るレーザアニール装置の非線形光学素子入射後の第1のパルスレーザー光の光強度の時間変化を示すグラフである。

【図4】 この発明の実施の形態1に係るレーザアニール装置の非線形光学素子で発生した第2のパルスレーザー光の光強度の時間変化を示すグラフである。

【図5】 この発明の実施の形態1に係るレーザアニール装置の被照射試料上における第1のパルスレーザー光と第2のパルスレーザー光の照射領域（ビームパタン）とを示す平面図である。

【図6】 この発明の実施の形態1に係るレーザアニール装置の第1のパルスレーザー光を被照射試料に照射した際の被照射試料の温度の時間変化の計算値を示すグラフである。

【図7】 この発明の実施の形態1に係るレーザアニール装置の第2のパルスレーザー光を被照射試料に照射した際の被照射試料の温度の時間変化の計算値を示すグラフである。



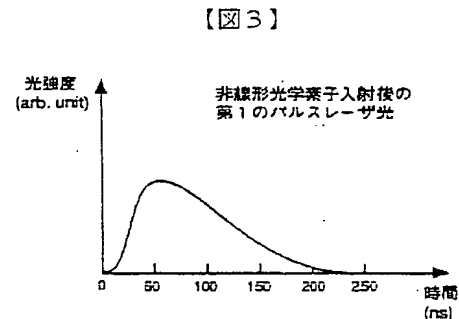
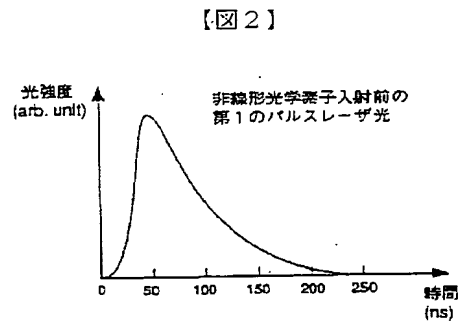
【図8】 この発明の実施の形態1に係るレーザアニール装置の第1のパルスレーザー光と第2パルスレーザー光とを重畳して被照射試料に照射した際の被照射試料の温度の時間変化の計算値を示すグラフである。

【図9】 この発明の実施の形態2に係るレーザアニール装置の第1のパルスレーザー光を発生する光源として使用する内部波長変換型固体レーザーの構成を示すブロック図である。

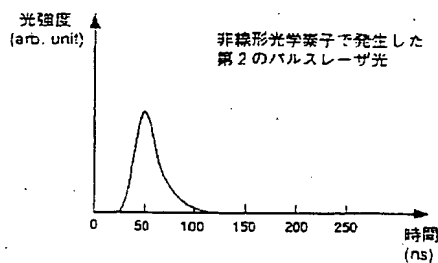
【図10】 従来のレーザアニール装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

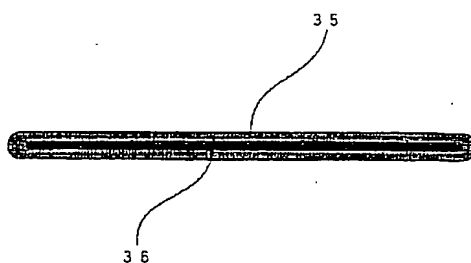
1 パルスレーザー光源、2 第1のパルスレーザー光、6 第2のパルスレーザー光、8 集光照射光学系、9 被照射試料、10 非線形光学素子、15 固体レーザー媒質、17 基本波レーザー光、18 Qスイッチ、19 第2高調波発生用非線形光学素子、20 第1の端部ミラー、21 第2の端部ミラー、35 第1のパルスレーザー光の照射領域（ビームパタン）、36 第2のパルスレーザー光の照射領域（ビームパタン）、101 内部波長変換型固体レーザー（固体レーザー）。



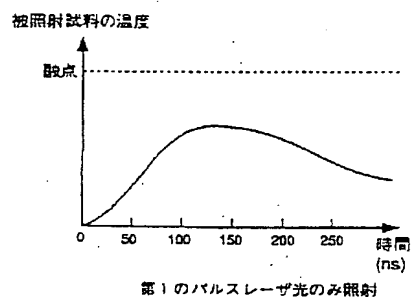
【図4】



【図5】

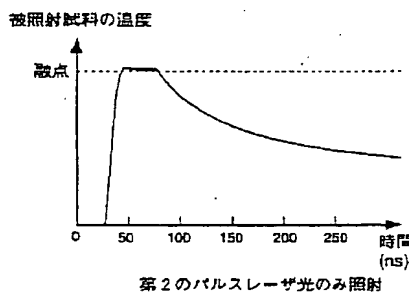


【図6】

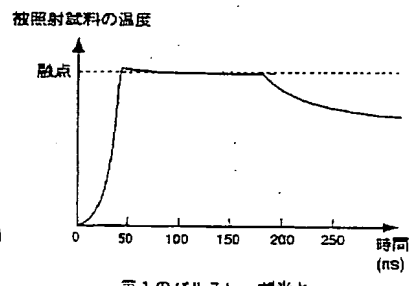


35 : 第1のバルスレーザ光の照射領域 (ビームパタン)  
36 : 第2のバルスレーザ光の照射領域 (ビームパタン)

【図7】



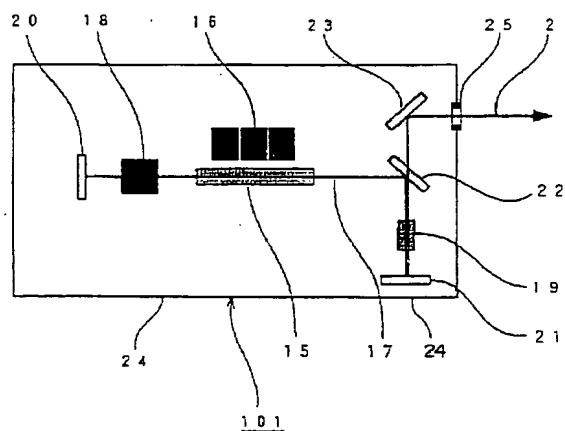
【図8】



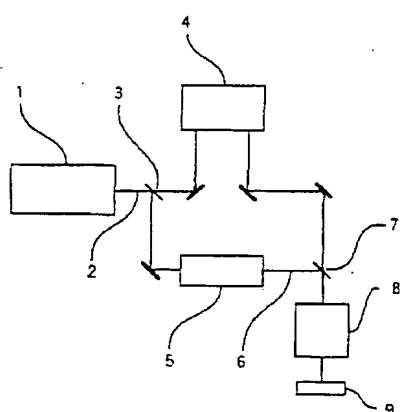
第2のバルスレーザ光のみ照射

第1のバルスレーザ光と  
第2のバルスレーザ光を重畳して照射

【図9】



【図10】



15 : 固体レーザ媒質  
17 : 基本波レーザ光  
18 : Qスイッチ  
19 : 第2高調波発生用非線形光学素子  
20 : 第1の端面ミラー  
21 : 第2の端面ミラー  
101 : 内部波長変換型固体レーザ (固体レーザ)

1 : パルスレーザ光源  
2 : 第1のバルスレーザ光  
3 : ビームスプリッタ  
4 : 遅延光学系  
5 : 光周波数倍器  
6 : 第2のバルスレーザ光  
7 : 2色性ビームスプリッタ  
8 : 集光照射光学系  
9 : 被照射試料

フロントページの続き

(72)発明者 森田 陽子  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内  
(72)発明者 今野 進  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内  
(72)発明者 小島 哲夫  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72)発明者 吉沢 憲治  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内  
Fターム(参考) 5F052 AA02 BA04 BA07 BA14 BA18  
BB03 BB07 CA04 DA02 EA16  
5F072 AB01 AB15 JJ01 JJ02 JJ05  
JJ12 JJ20 KK05 KK06 KK12  
KK13 KK15 KK24 KK30 MM03  
MM04 MM08 MM09 PP07 QQ02  
RR03 RR05 SS06 TT27 YY06

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**